

UJI KARAKTERISTIK MOTOR INDUKSI TIGA FASE DENGAN VARIASI SAMBUNGAN KUTUB

Danto Adityo Laksono¹, Bambang Sugiyantoro², Sarjiya²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro, FT UGM

²Dosen Jurusan Teknik Elektro, FT UGM

Abstrak

Ide dasar penelitian ini adalah mengetahui pengaruh jumlah kutub dan pembebanan terhadap karakteristik dari motor induksi tiga fase pada variasi sambungan kutub, yaitu sambungan delta dan wye. Berdasarkan hasil pengujian, Didapatkan hubungan antara besarnya arus yang mengalir, daya yang dibutuhkan, power faktor yang dihasilkan, berbanding terbalik dengan jumlah kutub yang diberikan dan berbanding lurus dengan pembebanan yang diberikan. Kecepatan putar motor berbanding terbalik dengan jumlah kutub yang diberikan dan pembebanan. Jika ditinjau dari jenis sambungannya, sambungan wye memiliki tingkat efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan sambungan delta. dapat dilihat dari daya yang dibutuhkan, sambungan wye memiliki nilai yang lebih kecil. Uji karakteristik motor induksi tiga fase dengan variasi sambungan kutub ini bermanfaat untuk mengetahui karakteristik yang terjadi pada motor induksi tiga fase sambungan delta dan wye apabila dilakukan perubahan dalam jumlah maupun bentuk kutub dan pada saat pembebanan.

Kata Kunci : Motor Induksi Tiga Fase, Variasi Kecepatan Motor Induksi Tiga Fase, Sambungan Delta, Sambungan Wye, Perubahan Jumlah Kutub Motor Induksi Tiga Fase

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang Permasalahan

Bidang kelistrikan dalam perkembangannya telah banyak mengalami kemajuan yang pesat. Penggunaan motor listrik untuk keperluan sehari-hari maupun untuk industri sangatlah luas dan merata serta jenis yang digunakan juga beraneka ragam dan salah satu jenisnya adalah motor induksi tiga fase sangkar tupai.

Oleh karena itu dibutuhkan tenaga ahli yang mengerti dan memahami tentang motor induksi tiga fase sangkar tupai. Dalam skripsi ini saya akan membahas tentang karakteristik motor induksi tiga fase sangkar tupai dengan perbedaan jumlah dan sambungan kutub.

1.2 Dasar Teori

Prinsip kerja dari motor induksi tiga fase berdasarkan induksi elektromagnetik, medan putar stator berputar secara elektromagnetik, sedangkan medan putar rotor berputar karena interaksi dari perputaran secara elektromagnetik dan mekanis.

Perputaran motor induksi tiga fase ditimbulkan oleh adanya medan putar yang dihasilkan oleh adanya medan putar yang dihasilkan oleh kumparan statornya, medan putar stator terjadi apabila kumparan statornya dihubungkan dengan sumber jala-jala tiga fase.

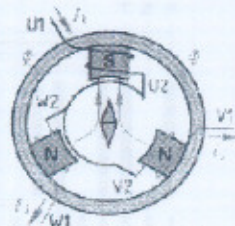
Medan putar yang ditimbulkan akan melalui celah udara dan memotong penghantar-penghantar rotor, sehingga pada penghantar rotor akan diimbaskan gaya gerak listrik (ggl). Ggl imbas dalam belitan rotor akan sebanding fluks yang dipotong oleh konduktor.

Belitan rotor merupakan rangkaian tertutup sehingga arus akan mengalir dalam rangkaian tersebut dan sebanding dengan gaya gerak listriknya karena arus tersebut berada dalam medan magnet, maka arus ini akan menimbulkan gaya pada rotor.

Gaya yang timbul secara berpasangan akan menimbulkan torsi, kalau torsi mula yang dihasilkan oleh gaya (F) pada rotor lebih besar dari torsi yang diperlukan beban, maka rotor akan berputar mengikuti arah putar medan stator.

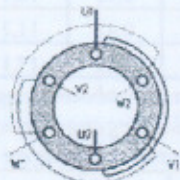
Kecepatan medan putar stator dan kecepatan mekanis rotor tidak sama sehingga hantaran rotor terinduksi tegangan, bila kecepatan putar medan stator dan kecepatan mekanis rotor sama, maka tidak akan terinduksi dan arus tidak akan mengalir pada penghantar rotor maka tidak akan dihasilkan torsi, apabila diperhatikan maka motor induksi tiga fase disebut juga motor tidak serempak.

Untuk lebih jelasnya, dapat dilihat dari gambar berikut :



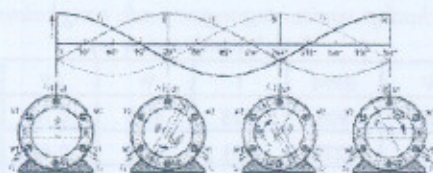
Gbr. 1 - Prinsip Kerja Motor Induksi

Ketika tegangan fase U masuk ke belitan stator menjadikan kutub S garis-garis gaya magnet mengalir melalui stator, sedangkan dua kutub lainnya adalah N untuk fase V dan fase W. Kompas akan saling tarik-menarik dengan kutub S. Berikutnya kutub S pindah ke fase V, kompas berputar 120° , dilanjutkan kutub S pindah ke fase W, sehingga pada belitan stator timbul medan magnet putar. Buktinya kompas akan memutar lagi menjadi 240° . Kejadian berlangsung silih berganti membentuk medan magnet putar sehingga kompas berputar dalam satu putaran penuh, proses ini berlangsung terus-menerus. Dalam motor induksi kompas digantikan oleh rotor sangkar yang akan berputar pada porosnya. Karena ada perbedaan putaran anatar medan putar stator dengan putaran rotor, maka disebut motor induksi tidak serempak atau motor asinkron. Susunan belitan stator motor induksi dengan dua kutub memiliki tiga belitan yang masing-masing berbeda sudut 120° seperti gambar di bawah. Ujung belitan fase pertama U_1 - U_2 , belitan fase kedua V_1 - V_2 dan belitan fase ketiga W_1 - W_2 .



Gbr. 2 - Belitan Stator Motor Induksi 2 Kutub

Prinsip kerja motor induksi dijelaskan dengan gelombang sinusoidal seperti Gambar 2.22 terbentuknya medan putar pada stator motor induksi. Tampak stator dengan dua kutub, dapat diterangkan dengan empat kondisi :



Gbr. 3 - Bentuk Gelombang Sinusoidal dan Timbulnya Medan Putar pada Stator Induksi

- a) Saat sudut 0° . Arus I_1 bernilai positif dan arus I_2

dan arus I_3 bernilai negatif, dalam hal ini belitan V_2 , U_1 dan W_2 bertanda silang (arus meninggalkan pembaca), dan belitan V_1 , U_2 , dan W_1 bertanda titik (arus menuju pembaca). Terbentuk fluks magnet pada garis horizontal sudut 0° . Kutub S (south = selatan) dan kutub N (north = utara).

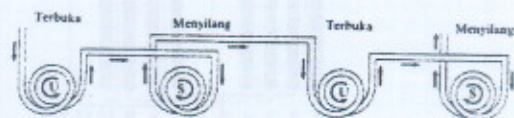
- b) Saat sudut 120° . Arus I_2 bernilai positif dan arus I_1 dan arus I_3 bernilai negatif, dalam hal ini belitan W_2 , V_1 dan U_2 bertanda silang (arus meninggalkan pembaca), dan belitan W_1 , V_2 , dan U_1 bertanda titik (arus menuju pembaca). Garis fluks magnet kutub S dan N bergeser 120° dari posisi awal.
- c) Saat sudut 240° . Arus I_3 bernilai positif dan arus I_1 dan arus I_2 bernilai negatif, dalam hal ini belitan U_2 , W_1 dan V_2 bertanda silang (arus meninggalkan pembaca), dan belitan U_1 , W_2 , dan V_1 bertanda titik (arus menuju pembaca). Garis fluks magnet kutub S dan N bergeser 120° dari kedua.
- d) Saat sudut 360° . Posisi ini sama dengan saat sudut 0° , di mana kutub S dan N kembali ke posisi awal sekali.

Dari keempat kondisi di atas sudut 0° , 120° , 240° , dan 360° , dapat dijelaskan terbentuknya medan putar pada stator, medan magnet putar stator akan memotong belitan rotor. Kecepatan medan putar stator ini sering disebut kecepatan sinkron, tidak dapat diamati dengan alat ukur tetapi dapat dihitung secara teoritis besarnya.

• Pembentukan Kutub

Untuk pembentukan medan magnetik berputar, rangkaian bersangkutan dari ketiga fase harus dihubungkan sehingga membentuk kutub U dan S bergantian, dalam rangkaian dari satu fase.

Agar lebih mudah dimengerti, dasar pembentukan kutub akan diuraikan untuk hanya satu fase dengan referensi Gambar berikut :



Gbr. 4 - Pembentukan Kutub

Bila arus mengalir searah panah, kumparan pertama membentuk kutub U, dan kumparan berikutnya membentuk kutub S, sehingga berturut-turut membentuk kutub U dan S. Dalam hal ini, perhatikan bahwa hubungan kawat masuk dari masing-masing kumparan terbuka dan melintang bergantian.

Bila kumparan dari kelompok U saja dalam belitan gelung lapisan dubel dalam Gambar 2.24 diambil dan dihubungkan sehingga kutub-kutub

U dan S bergantian terbentuk seperti dikatakan di atas, maka susunannya diperlihatkan pada Gambar 2.25.

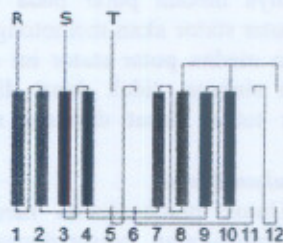
2. Perencanaan Motor Induksi Tiga Fase

Motor induksi yang digunakan memiliki 12 alur, dan data-data yang dibutuhkan adalah :

Daftar lilitan, sebelum membuat daftar lilitan terlebih dahulu harus melakukan perhitungan-perhitungan untuk mempermudah dalam merencanakan daftar lilitan karena motor yang akan dibuat oleh penulis adalah motor induksi yang dapat dilakukan perubahan pada jumlah kutub maka penulis mengasumsikan langkah alur diambil untuk kutub terbanyak, yaitu 4 kutub.

$$\text{langkah alur} \quad (Y_g = \text{cp}) = \frac{G}{p} = \frac{12}{4} = 3 \text{ alur},$$

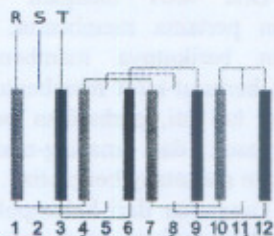
Gambar perencanaan, dari lilitan yang sudah direncanakan dapat dibuat gambar perencanaannya, adapun gambar perencanaan yang dibuat berguna untuk mempermudah dalam pelaksanaan pembuatan lilitan serta pencarian gangguan apabila terjadi kesalahan penyambungan.



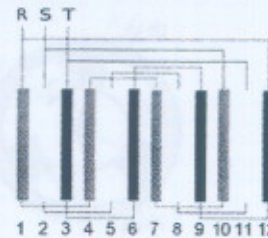
Gbr.7 - Diagram alur rangkaian dua kutub sambungan wye (a)



Gbr.7 - Diagram alur rangkaian dua kutub sambungan delta



Gbr.7 - Diagram alur rangkaian dua kutub sambungan wye (a)



Gbr.7 - Diagram alur rangkaian dua kutub sambungan delta

Kemudian, pengujian dilakukan terhadap keempat variasi sambungan kutub diatas.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pengujian dan Pembahasan Terhadap Variasi Jumlah dan Bentuk Kutub

Pengujian dilakukan dengan dengan beban nol dan dengan menggunakan beban. Pada saat beban nol, akan divariasi tegangan masukannya antara 20 Volt sampai dengan 110 Volt. Sedangkan pada pengujian berbeban, motor akan dibebani menggunakan motor DC Eddy Current yang dihubungkan dengan kopling kepada motor induksi tiga fase.

3.1.1 Pengujian tanpa beban

Tabel 1 - Data percobaan pengujian tanpa beban terhadap variasi tegangan pada rangkaian dua kutub sambungan wye

V	RPM	I	W	PF	Slip
20	440	0,39	6,43	0,82	85,33
40	2615	0,25	6,78	0,69	12,83
60	2860	0,31	9,71	0,53	4,67
80	2875	0,42	10,1	0,3	4,17
100	2890	0,47	11,7	0,25	3,67
110	2895	0,49	17,1	0,22	3,5

Tabel 2 - Data percobaan pengujian tanpa beban terhadap variasi tegangan pada rangkaian dua kutub sambungan delta

V	RPM	I	W	PF	Slip
20	2510	0,47	7,57	0,8	16,33
40	2705	0,65	13,43	0,52	9,83
60	2860	0,84	17,4	0,35	4,67
80	2865	1,15	23,54	0,26	4,5
100	2870	1,4	29,18	0,21	4,33
110	2950	1,48	30,3	0,19	1,67

Tabel 3 - Data percobaan pengujian tanpa beban terhadap variasi tegangan pada rangkaian empat kutub sambungan wye

V	RPM	I	W	PF	Slip
20	900	0,28	4,26	0,76	40
40	1270	0,31	6,13	0,49	15,33
60	1440	0,45	8,3	0,31	4
80	1445	0,61	12,34	0,25	3,67
100	1460	0,73	15,46	0,21	2,67
110	1477	0,79	17,12	0,2	1,53

Tabel 4 - Data percobaan pengujian tanpa beban terhadap variasi tegangan pada rangkaian empat kutub sambungan delta

V	RPM	I	W	PF	Slip
20	1350	0,51	5,92	0,59	10
40	1390	0,92	14,23	0,39	7,33
60	1440	1,31	18,5	0,24	4
80	1450	1,79	34,92	0,22	3,33
100	1470	2,01	42,8	0,19	2
110	1490	2,18	43,2	0,18	0,67

3.1.1.1 Karakteristik tegangan (V) terhadap arus (A)

Dapat dilihat dari tabel 1 sampai tabel 4 di atas bahwa semakin tinggi tegangan maka akan semakin tinggi pula arus. Hal ini sesuai dengan rumus $P = V \times I$. Kemudian jika dibandingkan jenis sambungannya, didapatkan bahwa jenis sambungan delta memiliki besar arus yang lebih tinggi dibandingkan sambungan wye. Hal tersebut sudah sesuai dengan teori. Karena sambungan wye memiliki efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan sambungan delta. Dapat dilihat pula bahwa rangkaian empat kutub menyerap arus yang relatif lebih besar daripada rangkaian empat kutub. Sehingga dapat disimpulkan bahwa rangkaian dua kutub memiliki efisiensi yang lebih tinggi daripada rangkaian empat kutub.

3.1.1.2 Karakteristik tegangan terhadap Daya (W)

Dapat dilihat dari tabel 1 sampai dengan tabel 4 di atas semakin besar tegangan maka daya yang dibutuhkan akan semakin besar. Maka dapat dikatakan hubungan antara tegangan dan daya berbanding lurus dapat dikatakan benar. Kemudian jika dibandingkan jenis sambungannya, didapatkan bahwa jenis sambungan delta membutuhkan daya yang lebih tinggi dibandingkan sambungan wye. Dapat dilihat pula bahwa rangkaian 4 kutub membutuhkan daya yang lebih besar daripada rangkaian 2 kutub. Hal tersebut sudah sesuai dengan teori. Karena sambungan wye memiliki efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan sambungan delta.

3.1.1.3 Karakteristik tegangan terhadap faktor daya (Pf)

Dapat dilihat dari tabel 1 sampai dengan tabel 4 di atas semakin besar tegangan maka Pf akan semakin turun. Kemudian jika dibandingkan jenis sambungannya, didapatkan bahwa jenis sambungan wye memiliki Pf yang lebih efisien dibandingkan sambungan wye. Hal tersebut sudah sesuai dengan teori. Karena sambungan wye

memiliki efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan sambungan delta.

3.1.1.4 Karakteristik tegangan terhadap RPM

Dapat dilihat dari tabel 1 sampai dengan tabel 4 di atas semakin besar tegangan maka perputaran motor akan semakin kencang. Kemudian jika dibandingkan jenis sambungannya, didapatkan bahwa jenis sambungan wye memiliki RPM yang relative lebih tinggi dibandingkan sambungan wye. Hal tersebut sudah sesuai dengan teori. Karena sambungan wye memiliki efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan sambungan delta.

3.1.1.5 Karakteristik tegangan terhadap slip

Dapat dilihat dari tabel 1 sampai dengan tabel 4 di atas semakin besar tegangan maka perputaran motor akan semakin kencang dan slip akan semakin menurun. Kemudian jika dibandingkan jenis sambungannya, didapatkan bahwa jenis sambungan wye maupun delta memiliki slip yang relatif sama besar. Perbedaan hanya terjadi sampai tegangannya sekitar 60 Volt. Hal ini dikarenakan kemampuan *starting* motor yang berbeda pada kedua sambungan. Namun pada saat telah berputar stabil, jenis sambungan tidak mempengaruhi besar slip pada motor.

3.1.2 Pengujian berbeban

Tabel 5 - Data percobaan pengujian berbeban pada rangkaian dua kutub sambungan delta

Beban	RPM	V	I	W	PF	Slip
0	2950	110,3	1,48	30,3	0,18	1,67
1	2935	110,7	1,49	38,52	0,23	2,17
2	2920	111,1	1,52	50,78	0,3	2,67
3	2880	110,9	1,55	63,8	0,37	4
4	2855	110,9	1,6	76,07	0,43	4,83
5	2840	111,3	1,65	87,55	0,48	5,33
6	2810	111	1,72	104,6	0,52	6,33
7	2780	109,6	1,75	123,3	0,53	7,33

Tabel 6 - Data percobaan pengujian berbeban pada rangkaian dua kutub sambungan wye

Beban	RPM	V	I	W	PF	Slip
0	2895	109,8	0,49	17,1	0,31	3,5
1	2830	110,2	0,54	29,7	0,5	5,67
2	2740	110,1	0,62	42,5	0,62	8,67
3	2630	110,2	0,71	54,8	0,7	12,3
4	2490	110,0	0,81	67,4	0,75	17
5	2340	109,6	0,96	83,2	0,79	22
6	2130	109,5	1,18	101,3	0,81	29
7	1805	109,0	1,46	119,6	0,82	39,83

Tabel 7 - Data percobaan pengujian berbeban pada rangkaian empat kutub sambungan delta

Beban	RPM	V	I	W	PF	Slip
0	1490	109,4	2,18	43,2	0,17	0,67
1	1480	109,45	2,38	50,06	0,19	1,33
2	1476	109,41	2,38	55,45	0,21	1,6
3	1468	109,37	2,38	60,61	0,23	2,13
4	1460	109,45	2,39	66,32	0,25	2,67
5	1440	109,52	2,4	72,62	0,28	4
6	1432	109,97	2,42	78,9	0,3	4,53
7	1400	109,94	2,42	84,4	0,32	6,67

Tabel 8 - Data percobaan pengujian berbeban pada rangkaian empat kutub sambungan wye

Beban	RPM	V	I	W	PF	Slip
0	1477	109,29	0,79	17,12	0,19	1,53
1	1450	111,09	0,8	22,93	0,26	3,33
2	1428	111,02	0,81	28,57	0,32	4,8
3	1400	111,01	0,83	34,8	0,38	6,67
4	1370	111,03	0,85	40,96	0,43	8,67
5	1349	110,9	0,89	47,95	0,49	10,07
6	1308	110,9	0,94	55,97	0,55	12,8
7	1270	110,79	0,98	62,37	0,57	15,33

3.1.2.1 Karakteristik pembebanan terhadap Arus (A)

Dapat dilihat pada tabel 5 sampai dengan tabel 8 di atas, semakin besar pembebanan maka arus yang dibutuhkan akan semakin besar. Hal tersebut sudah sesuai dengan teori. Karena semakin besar beban yang diberikan maka daya yang dibutuhkan untuk meyuplai beban juga semakin besar. Oleh karena itu arus yang dibutuhkan juga semakin besar. Hal ini sesuai dengan rumus $P = V \times I$. Kemudian jika dibandingkan jenis sambungannya, didapatkan bahwa jenis sambungan delta memiliki besar arus yang lebih tinggi dibandingkan sambungan wye. Hal tersebut sudah sesuai dengan teori. Karena sambungan wye memiliki efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan sambungan delta.

3.1.2.2 Karakteristik pembebanan terhadap Daya (W)

Dapat dilihat pada tabel 5 sampai dengan tabel 8 di atas, semakin besar pembebanan maka daya yang dibutuhkan akan semakin besar. Ketika beban ditambahkan dibutuhkan penambahan daya juga untuk mengimbangi beban yang bertambah. Maka dapat dikatakan hubungan antara pembebanan dan daya berbanding lurus dapat dikatakan benar. Kemudian jika dibandingkan jenis sambungannya, didapatkan bahwa jenis sambungan delta membutuhkan daya yang lebih

lebih tinggi dibandingkan sambungan wye. Hal tersebut sudah sesuai dengan teori. Karena sambungan wye memiliki efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan sambungan delta.

3.1.2.3 Karakteristik pembebanan terhadap faktor daya (Pf)

Dapat dilihat pada tabel 5 sampai dengan tabel 8 di atas, semakin besar pembebanan maka Pf akan semakin besar. Ketika beban ditambahkan dibutuhkan penambahan daya juga untuk mengimbangi beban yang bertambah. Sesuai dengan rumusan segitiga daya $VA = \sqrt{W^2 + VAR^2}$ dan $PF = \frac{W}{VA}$ maka

ketika daya meningkat maka nilai Pf juga akan meningkat. Dapat dikatakan bahwa hubungan antara pembebanan dengan Pf berbanding lurus adalah benar. Kemudian jika dibandingkan jenis sambungannya, didapatkan bahwa jenis sambungan wye memiliki Pf yang lebih efisien dibandingkan sambungan wye. Hal tersebut sudah sesuai dengan teori. Karena sambungan wye memiliki efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan sambungan delta.

3.1.2.4 Karakteristik pembebanan terhadap RPM

Dapat dilihat pada tabel 5 sampai dengan tabel 8 di atas, semakin besar pembebanan maka RPM akan semakin kecil. Hal ini sama halnya seperti sebuah sepeda yang ditekan tuas rem-nya maka semakin lama kecepatannya akan semakin menurun. Dapat dikatakan bahwa hubungan antara pembebanan dengan Rpm berbanding terbalik adalah benar. Kemudian jika dibandingkan jenis sambungannya, didapatkan bahwa jenis sambungan delta memiliki RPM yang lebih tinggi dibandingkan sambungan wye.

3.1.2.5 Karakteristik pembebanan terhadap slip

Dapat dilihat pada tabel 5 sampai dengan tabel 8 di atas, semakin besar pembebanan maka slip akan semakin besar. Dapat dikatakan bahwa hubungan antara pembebanan dengan slip berbanding terbalik adalah benar. Kemudian jika dibandingkan jenis sambungannya, didapatkan bahwa jenis sambungan delta memiliki slip yang lebih kecil dibandingkan sambungan wye.

4. Kesimpulan

Setelah melakukan pengujian terhadap motor induksi tiga fase yang dibuat oleh penulis maka dapat diambil kesimpulan diantaranya :

1. Pada pengujian tanpa beban, tegangan berbanding lurus dengan arus, daya, dan RPM,

namun berbanding terbalik dengan *power factor* dan slip.

2. Hubungan antara daya yang dibutuhkan dan *power factor* yang dihasilkan berbanding terbalik terhadap jumlah kutub yang diberikan dan berbanding lurus terhadap pembebanan yang diberikan.
3. Hubungan antara banyaknya pembebanan terhadap RPM yang dihasilkan motor adalah berbanding terbalik. Sebaliknya, Slip berbanding lurus terhadap pembebanan.
4. Sambungan wye memiliki tingkat efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan sambungan delta dikarenakan sambungan wye menyerap

daya yang relatif lebih kecil disbanding sambungan delta.

5. Referensi

- [1] Boldea, Ion., Nasar, Syed A., 2002. *The Inductions Machine Handbook*. Boca Raton. Florida.
- [2] Schweitzer, Gerhard., Maslen, Eric H., 2009. *Magnetic Bearings*. Verlag. Berlin.
- [3] Soelaiman, Ts., Magarisawa, Mabuchi., 1984. *Mesin Tak Serempak Dalam Praktek*. Jakarta. Indonesia.
- [4] Warne, D F., 2005. *Newnes Electrical Power Engineer's Handbook*. Burlington. MA.